

## PERILAKU KEMBANG DAN SUSUT LEMPUNG EXPANSIF (SWELLING AND SHRINKING BEHAVIOR OF EXPANSIVE CLAYS)

Supriyono<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*Very highly swelling and shrinkage is the expansive soil characteristic, that can be easily found in Indonesia and it often arises a problem in civil work constructions.*

*To investigate the relationship between swelling and shrinkage it is necessary to carry out the examination of atterberg limit, in particular the shrinkage limit. Sample test condition of optimum moisture contain and maximum dry density were analysed to determine swelling and shrinkage limit, which was based on the value of the critical dry density.*

*The result shows that the value of critical dry density in  $1.225 \text{ gr/cm}^3$  for a normal condition and  $1.38 \text{ gr/cm}^3$  for an influenced wet dry process. Therefore a water contain may influence the level of swelling and shrinkage expansive clays.*

### PENGANTAR

Kerusakan bangunan yang disebabkan perilaku tanah sudah banyak terjadi di Indonesia. Kerusakan bangunan yang disebabkan oleh tanah ini, salah satu penyebabnya adalah karena fluktuasi kembang dan susut tanah sangat tinggi.

Tuti dan Sularno (1982) dalam Munirwansyah (1989) menyatakan bahwa tanah di Indonesia lebih dari 50 % atau bahkan mendekati 65 % merupakan tanah laterite. Pada umumnya mengandung mineral yang mempunyai potensi me-ngembang sangat tinggi, disebut tanah ekspansif. Tanah ekspansif inilah yang mempunyai karakteristik kembang susut sangat tinggi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan diteliti faktor yang menyebabkan terjadinya perilaku kembang dan susut.

Donaldson (1969) dalam Chen (1975) mengelompokkan tanah ekspansif seperti Argentina, Australia, Birma, Canada, Cuba, Ethiopia, Ghana, India, Israel, Iran, Mexico, Morocco, Rhodesia, Afrika selatan, Spanyol, Turki, Amerika Serikat, Venezuela. Masalah yang sering timbul di negara-negara yang mempunyai tanah lempung ekspansif yaitu kerusakan pada bangunan khususnya pada fondasi bangunan (bentuk/macam fondasi yang bagaimana, gerakan-gerakan fondasi, settlement yang terjadi) yang sangat dipengaruhi oleh kembang susut tanah lempung ekspansif tersebut. Menurut Chen (1987), pada umumnya tanah lebih banyak dipengaruhi oleh masalah perilaku susut

daripada masalah kembang. Masalah susut inilah yang sering menimbulkan kerusakan bangunan/konstruksi. Di India dan sebagian besar Afrika Tengah, tanah lempung merupakan tanah "*Black Cotton*". Sedangkan di Cina pada umumnya tanah lempung ekspansif mengandung mineral Illite dan mempunyai pengaruh/perilaku susut lebih banyak (dominan) daripada pengaruh/perilaku kembang. Driscoll (1983) menyatakan bahwa di Inggris, masalah yang timbul lebih banyak disebabkan oleh tanah ekspansif, khususnya oleh kadar air. Berbeda dengan Amerika, khususnya di wilayah pegunungan yang berbatu jarang terjadi susut yang merusak bangunan. Dilaporkan pula bahwa suatu tanah mengalami proses kembang terus menerus sehingga perlu perhatian. Pada umumnya tanah ekspansif sangat sensitif terhadap pengaruh musim; terjadi retakan/rekahan pada musim kemarau dan menutup kembali bila musim hujan. Sifat-sifat tanah dan kondisi lingkungan merupakan faktor utama yang dapat mempengaruhi perilaku susut dan kembang pada tanah ekspansif.

Supriyono (1994), mengadakan penelitian tentang tekanan tanah ekspansif untuk sampel terusik untuk beberapa lokasi penelitian (11 lokasi penelitian). Hasilnya nilai tekanan pengembangan untuk sampel terusik yang terbesar adalah  $10,10 \text{ kg/cm}^2$  khususnya untuk daerah Soko. Supriyono (1995) telah mengadakan penelitian yang sama, namun sampel yang digunakan adalah sampel tak terusik. Hasil yang diperoleh untuk tanah dari Soko adalah swelling pressure tertinggi sebesar  $58,81 \text{ kg/cm}^2$  dengan kadar air awal 12,99 % yang terdapat di daerah Soko. Supriyono (1996) melanjutkan penelitian untuk tanah lempung ekspansif pada lokasi sama seperti diatas dalam hal stabilisasinya yaitu menstabilkan tanah lempung ekspansif. Penelitian bertujuan untuk meneliti pengaruh kadar air, kepadatan kering, pengaruh musim yang dapat mempengaruhi perilaku susut dan kembang khususnya tanah lempung ekspansif.

Akibat dari besarnya tekanan pengembangan dapat menimbulkan rusaknya bangunan. Oleh karena itu suatu cara sangat diperlukan untuk mengeliminir rusaknya bangunan tersebut, salah satunya membuat tanah lempung ekspansif stabil terhadap kembang susut sehingga dapat bermanfaat untuk pembangunan di bidang teknik sipil.

## TUJUAN PENELITIAN

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, bahwa banyak bangunan didirikan di atas tanah kurang baik dan seringnya terjadi kerusakan bangunan di Indonesia seperti di Jawa tengah (Cepu), Jawa Timur (Gresik), Jawa Barat (Losari), pada umumnya bangunan tersebut didirikan di atas tanah ekspansif. Oleh karena itu dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan jalan keluar agar tanah lempung ekspansif, yang pada umumnya mempunyai fluktuasi kembang susut sangat tinggi menjadi berkurang. Berkurangnya fluktuasi kembang susut dapat dilakukan dengan mengendalikan faktor-faktor yang merangsang timbulnya kembang susut.

## TINJAUAN PUSTAKA

Nilai kembang (*swelling*) adalah penambahan tinggi atau tebal sampel setelah diberi air. Hal ini dapat diketahui dengan naiknya persentase tinggi sampel pada saat awal dan

menyusutnya volume tanah bila dibandingkan dengan volume awal. Yaitu menyusutnya volume tanah dari kondisi kadar air tinggi menuju ke kadar air awal. Chen (1987) dalam Proceeding 6th International Conference on Expansive Soils (1987); mengadakan penelitian pada lempung dengan kadar air awal  $14,9 \% \pm 0,25 \%$  dan kepadatan kering bervariasi dari  $1,44 \text{ gr/cm}^3$  (90 pcf) sampai  $1,76 \text{ gr/cm}^3$  (110 pcf). Hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1, yang mengilustrasikan nilai susut dan kembang untuk berbagai variasi nilai kepadatan kering. Hasil penelitian ini cocok dengan hasil temuan Chen (75) yaitu nilai kembang akan naik cepat bersamaan dengan naiknya nilai kepadatan kering. Sedangkan nilai susut hampir tetap ( $12 \% - 13 \%$ ) dengan bertambahnya nilai kepadatan awal, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi nilai kepadatan kering sangat kecil pengaruhnya pada nilai susut. Bila kandungan air tanah awal tetap, perubahan kepadatan kering awal pada dasarnya tidak akan merubah nilai susut. Berdasarkan pengalaman sungguh sulit untuk mengecek kadar air akhir, ketika sampel dikeringkan udara (dianginkan) dari kondisi jenuh air ke kondisi kandungan air awal. Hasil sementara penelitian Chen (1987) dalam Proceeding 6th International Conference on Expansive Soils (1987) menunjukkan bahwa nilai susut dan kembang untuk kepadatan kering awal tertentu bertemu pada suatu titik tertentu, disebut kepadatan kering kritis. Kepadatan kering kritis bervariasi sesuai dengan sifat tanah dan kadar air awal. Bila kepadatan kering awal lebih besar daripada kepadatan kering kritis maka nilai kembang akan lebih besar daripada nilai susut. Bila kepadatan kering awal lebih kecil daripada kepadatan kering kritis maka nilai susut akan lebih besar daripada nilai kembang.

### (i) Pengaruh Kadar air pada nilai kembang dan nilai susut

Popescu (1980) menyatakan bahwa kadar air kritis tidak boleh melebihi nilai susut di lapangan. Bilai nilai kadar air kritis sudah mencapai nilai yang berlebihan, maka perubahan nilai kadar air tidak akan menyebabkan susut lagi. Pada dasarnya susut dapat dibagi menjadi 3 tingkatan :

- Susut awal (Initial Shrinkage)
- Susut normal (Normal Shrinkage)
- Susut sisa (Residual Shrinkage)

Dalam prakteknya, variasi kadar air dalam lempung biasanya masuk dalam batas kadar air kritis. Penelitian yang dilakukan Popescu mengambil nilai kepadatan kering tetap yaitu berkisar antara  $1,71 \text{ gr/cm}^3 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$  (107 pcf  $\pm 0,6$  pcf) dan kadar air awal bervariasi antara  $15,1 \% - 22,3 \%$ . Kisaran kadar air ditentukan dengan batasan tidak melebihi kadar air kritis. Hasil penelitian Popescu dapat dilihat pada gambar 2. Dalam gambar 2 ini terlihat bahwa nilai kembang dan susut turun dengan bertambahnya kadar air awal. Didefinisikan bahwa nilai susut tetap dan lebih kecil daripada nilai kembang bila kadar air awal lebih kecil dari nilai susut. Bila kadar air awal nilainya mendekati nilai susut, maka nilai susut berkurang bersamaan dengan bertambahnya kadar air awal, dan kecepatan menurunnya lebih rendah daripada kecepatannya. Bertambahnya kadar air awal akan diperoleh suatu titik dimana nilai susut hampir sama dengan nilai kembangnya, seperti terlihat pada gambar 2 yaitu di titik A. Dengan terus

kembang. Penambahan air tidak dapat melebihi batas normal, kecepatan menyusut menurun dengan bertambahnya kadar air yang akan melebihi batas tertentu. Kecepatan menurunnya nilai susut lebih besar kecepatan menurunnya nilai kembang. Titik B menunjukkan bahwa nilai susut dan kembang kembali mempunyai nilai sama. Setelah itu nilai kembang lebih besar daripada nilai susut. Bila kadar air awal mendekati jenuh, kecepatan susut dan kembang menurun dan akhirnya mendekati nol.

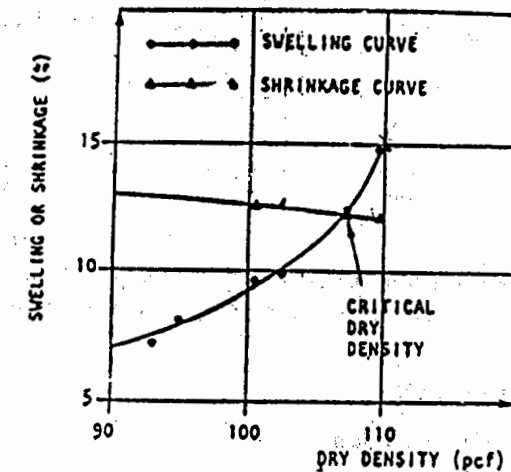
### (ii) Siklus Basah dan Kering

Perilaku tanah lempung ekspansif bila terpengaruh siklus basah kering sudah dikaji oleh beberapa peneliti. Proses basah kering dilakukan dengan cara tanah dibasahi kemudian dijemur atau diangin-anginkan, demikian seterusnya sampai sample akan diuji. Akhir-akhir ini salah satu kesimpulan dari pengaruh siklus basah kering adalah nilai kembang menurun relatif tetap dan akhirnya mencapai nilai konstan. Hal seperti ini oleh Chen (1974) dalam Chen (1975) dinamakan kelelahan kembang dan ini sering terjadi di lapangan. Bila musim basah dan kering datang, pergerakan ini kecenderungannya mendekati kondisi stabil setelah musim basah kering berlangsung. Peristiwa ini sudah diteliti oleh Chen dan Lu (1984) dan Chen, Lu dan He (1985). Popescu (1980) meneliti perilaku tanah lempung ekspansif yang di atasnya didirikan bangunan dengan diberi siklus basah kering. Disimpulkan bahwa pengaruh air relatif akan hilang bila siklus kembang susut berlangsung lebih besar empat kali. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi bahwa terjadi penurunan yang jelas nyata pada perilaku kembang yang diberi siklus basah kering terus menerus. Perilaku susut kelihatannya tidak berubah meskipun ada musim basah kering yang berulang-ulang. Nilai susut mendekati sama dengan nilai kembang seperti terlihat pada gambar 3. Gambar 3 merupakan hasil penelitian Popescu (1980), data yang digunakan berpasangan antara nilai susut dan nilai kembang untuk satu siklus basah kering. Menggunakan konsep kepadatan kering kritis (*critical stage*) kepadatan kering lempung lebih besar daripada kepadatan kering kritis. Dengan proses basah kering kepadatan kering mempunyai kecenderungan mendekati nilai kritisnya, yang mana nilai kembang dan nilai susutnya hampir sama. Sedangkan kelelahan kembang sangat dimungkinkan oleh penurunan berangsur-angsur dari kepadatan kering. Bila kepadatan kering mendekati nilai kritisnya, maka formula Popescu dapat digunakan. Hal penting adalah nilai susut, nilai kembang, dan kepadatan kering menjadi stabil dan tidak lagi berubah-ubah karena letak/tempatnya. Berdasarkan teori yang telah dipaparkan di atas, dimungkinkan bahwa jika sampel mempunyai kepadatan kering lebih kecil daripada kepadatan kering kritis dan di bawah pengaruh basah kering, nilai kembang tidak dapat turun tetapi malahan akan naik selama dapat mendekati titik kritis. Dimungkinkan juga bahwa jika sampel tanah mempunyai kepadatan kering sama dengan kepadatan kering kritis yang kemudian di bawah pengaruh basah kering, maka nilai kembang akan tetap tidak berubah selama sampel dalam kondisi alam.

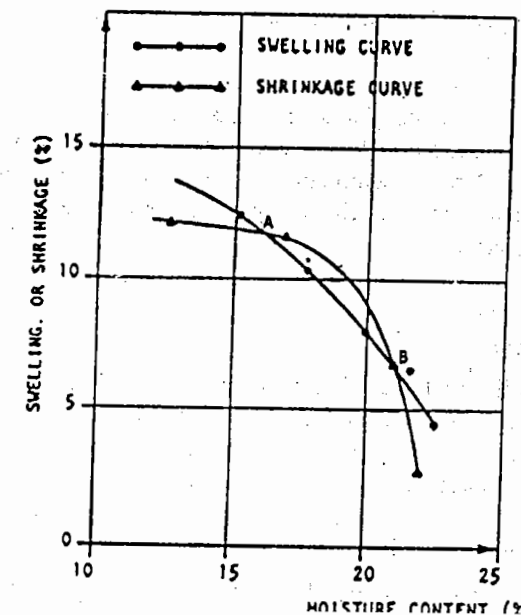
### (iii) Hubungan antara Susut dan kembang

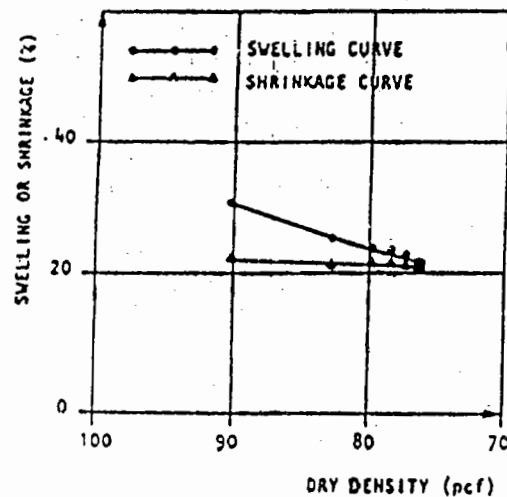
Uzan (1973) mengukur gaya kembang dan gaya susut tanah lempung *remolded* dan

nilai susut berkebalikan dengan informasi terdahulu. Chen dan Ma (1987) dalam *Proceeding 6th International Conference on Expansive Soils (1987)* berusaha untuk menetapkan hubungan antara nilai kembang dan nilai susut dengan pengujian seri dengan variasi kepadatan kering awal dan kadar air. Chen dan Ma (1987) dalam *Proceeding 6th International Conference on Expansive Soils (1987)* mempunyai pemikiran bahwa nilai susut dapat lebih besar atau lebih kecil daripada nilai kembang, ini tergantung dari kondisi awal dari tanah.



Gambar 2.1. Pengaruh kepadatan kering awal terhadap nilai kembang dan susut (Chan, 1975)





Gambar 2.3. Perilaku kembang dan susut pada tanah ekspansif khususnya pengaruh musim basah dan kering yang berulang-ulang (Popescu, 1980)

## METODA PENELITIAN

### Bahan atau material penelitian

Untuk melengkapi penelitian Supriyono (1994 dan 1995) yang belum melihat aspek perilaku kembang dan susut, maka dalam penelitian ini bahan atau material diambil dari daerah seperti tersebut di atas yaitu di daerah Ngawi, Sragen, dan Bantul dan pada kesempatan ini merupakan lanjutan dari penelitian terdahulu.

### Alat

Penelitian ini semua pengujian akan dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah. Uji mekanika tanah meliputi uji batas-batas konsistensi, Kepadatan, dan CBR sekaligus untuk uji kembang. Dengan demikian alat yang digunakan sesuai dengan pengujian seperti tersebut di atas dan ada sebagian yang harus dan perlu dimodifikasi khususnya pengujian kembang susut.

### Prosedur Pelaksanaan

#### a. Pengambilan sampel

Sampel diambil dari lokasi dalam keadaan terusik dan tak terusik. Untuk sampel terusik masing-masing lokasi diambil sesuai keperluan, demikian juga sampel tak terusik masing-masing lokasi diambil 10 tabung. Keenam lokasi ini adalah Cangaan, Soko, Ngablak, Gawan, Sumberlawang, dan Kasihan.

#### b. Persiapan sampel

Dalam mempersiapkan sampel dapat dijelaskan sebagai berikut : sampel disturbed;

seterusnya. Sampel undisturbed; dicetak berbentuk silinder kecil dengan ukuran diameter  $\pm 4"$  dan tinggi  $\pm 4,5"$ .

### c. Cara penelitian

Sampel disturbed berupa lempung warna hitam yang berasal dari Ngawi, Sragen, dan Bantul. Sampel tersebut ditentukan sifat-sifat fisik yang paling mendasar antara lain:

- (1) Liquid Limit
- (2) Plastic Limit
- (3) Specific Gravity
- (4) Shrinkage Limit
- (5) Butiran lewat saringan # 200

Lempung dihaluskan dan disiapkan untuk uji batas-batas konsistensi dan untuk kepadatan yang selanjutnya digunakan untuk uji kembang. Adapun pengujian yang dilakukan antara lain :

- (1) Kepadatan kering diusahakan tetap, dan kadar air dibuat bervariasi.
- (2) Kadar air diusahakan tetap, dan kepadatan kering dibuat bervariasi.
- (3) Pengujian kembang mirip dengan pengujian CBR yang dimodifikasi.

Pengujian kembang dilaksanakan setelah diadakan pengujian kepadatan, untuk menentukan kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) dan kepadatan maksimum ( $\gamma_{maks}$ ). Dengan kadar air optimum, tanah dipadatkan dalam mold kemudian dibebani dengan tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup>. Tekanan dilepaskan sehingga sampel dibiarkan mengembang dengan bebas, baru setelah mencapai keseimbangan (tidak mengembang lagi) sampel diuji besarnya nilai kembangnya. Sampel tadi diberi air sehingga tanah akan mengembang dan besarnya kenaikan tinggi sampel dicatat. Bertambahnya tinggi sampel dibandingkan dengan tinggi sampel awal merupakan nilai kembangnya.

### Analisis Hasil

Hasil pengujian laboratorium dianalisis dengan cara membuat suatu grafik simultan, yaitu fungsi kadar air, kepadatan kering, susut, dan persentase kembang.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### a. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini meliputi persentase kembang (Swelling) dan persentase susut (shrinkage), kadar air optimum (OMC), kepadatan maksimum (MDD), baik untuk tanah asli yaitu tanah tanpa dipengaruhi proses basah kering (pengaruh musim) maupun tanah yang dipengaruhi oleh proses basah kering (terpengaruh musim). Hasil penelitian ini dapat diperiksa pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

LOKASI	INDEKS PROPERTIES						ASLI (tidak ada proses bsh-kering)			PENGARUH PROSES BASAH KERING			
	WL (%)	Wp (%)	IP (%)	Ws (shri) (%)	G	% Passing # 200	OMC (%)	MDD gr/cm <sup>3</sup>	Swell (%)	OMC (%)	MDD gr/cm <sup>3</sup>	Ws (shri) (%)	Swell (%)
Ngablak	74,50	31,16	43,00	14,25	2,627	94,00	32,00	1,23	6,07	34,00	1,26	11,26	12,76
Nggawan	68,50	28,63	40,00	14,52	2,693	90,93	33,00	1,27	6,20	35,50	1,27	11,72	12,98
Cangkalan	66,00	28,58	37,00	13,65	2,650	92,13	35,50	1,28	6,29	40,50	1,32	12,24	15,56
Soko	92,50	36,82	57,00	11,67	2,669	98,44	43,50	1,29	8,50	40,00	1,30	12,28	13,86
Sumberlawang	79,90	31,18	48,00	12,88	2,672	97,02	37,20	1,25	6,10	34,00	1,25	11,58	11,95
Kasihani	76,00	29,80	46,00	12,99	2,630	94,33	38,70	1,27	6,60	37,00	1,26	11,51	12,93

## b. Pembahasan

### 1) Kondisi tanah asli

Pengujian tanah asli ditunjukkan pada gambar 4. Terlihat bahwa nilai kepadatan kering maksimum kritis adalah 1,38 gr/cm<sup>3</sup> dengan nilai kembang dan susut kritis mencapai nilai 10,94 %. Perilaku nilai kembang dan susut menunjukkan bahwa makin meningkat nilai kepadatan kering maksimum, makin naik nilai kembang dan makin menurun nilai susutnya. Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar air optimum terdapat sekitar 55,50 %, dengan nilai kembang dan susut kritis mencapai nilai 10 %. Makin meningkat nilai kadar air, makin naik nilai kembang dan makin menurun nilai susutnya.

### 2) Kondisi tanah yang terpengaruh proses basah kering

Pada pengujian tanah yang terpengaruh oleh musim basah kering yang berulang-ulang seperti pada gambar 6 menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering maksimum kritis adalah 1,225 gr/cm<sup>3</sup>, dengan nilai kembang dan susut kritis 11,25 %. Perilaku nilai kembang dan susut menunjukkan bahwa makin meningkat nilai kepadatan kering maksimum, makin bertambah nilai kembang dan susutnya. Gambar 7 menunjukkan bahwa kadar air optimum terdapat sekitar 32 %, dan makin meningkat nilai kadar air makin bertambah nilai kembang dan susutnya.

### 3) Perilaku tanah asli dan tanah yang dipengaruhi musim basah dan kering yang berulang-ulang.

Perilaku nilai kembang dan susut, nilai kepadatan kering, dan nilai kadar air khususnya antara tanah yang terpengaruh proses basah kering maupun yang tidak (tanah asli) dapat dijelaskan seperti pada gambar 8 dan gambar 9. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai kembang akan meningkat (dilihat dari aspek kadar air optimum) bila tanah terpengaruh atau tidak terpengaruh oleh proses musim basah kering. Sedangkan nilai susut tidak menunjukkan perilaku linier, pada saat kadar air optimum lebih kecil nilai 41 %, nilai susut pada tanah asli lebih besar daripada kondisi tanah terpengaruh musim basah kering. Sedangkan bila nilai kadar air optimum lebih besar 41 %, nilai susut pada tanah asli akan menurun dan pada tanah yang tidak terpengaruh oleh proses musim basah

maksimum menunjukkan bahwa nilai kembang akan meningkat/lebih besar pada tanah yang terpengaruh oleh proses musim basah kering bila dibandingkan dengan tanah asli. Sedangkan nilai susut menunjukkan gejala yang beda, dengan kadar air optimum berapapun nilai susut hampir sama antara tanah asli maupun tanah yang terpengaruh oleh musim basah kering. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengatasi kerusakan bangunan yang harus berdiri di atas tanah lempung ekspansif. Dengan diketahuinya kadar air optimum kritis maupun kepadatan kering kritis, maka tanah dibawah bangunan harus diusahakan mempunyai kadar air maupun kepadatan kering kritis mendekati dengan nilai dari hasil penelitian ini. Kondisi ini dapat menghasilkan nilai kembang dan susut yang sama atau hampir sama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### a. Dari penelitian yang terdiri atas tiga lokasi, semuanya merupakan tanah ekspansif dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai kepadatan kering maksimum kritis adalah 1,38 gr/cm<sup>3</sup> dengan nilai kembang dan susut kritis mencapai nilai 10,94 % khusus untuk tanah asli (tanah yang tidak terpengaruh kondisi basah-kering)
2. Khusus untuk tanah asli, makin meningkat nilai kepadatan kering maksimum, makin bertambah nilai kembang dan makin menurun nilai susutnya.
3. Kadar air optimum terdapat sekitar 55,50 %, dengan nilai kembang dan susut kritis mencapai nilai 10 %, untuk tanah asli.
4. Makin meningkat nilai kadar air, makin bertambah nilai kembang dan makin menurun nilai susutnya, untuk tanah asli.
5. Nilai kepadatan kering maksimum kritis adalah 1,225 gr/cm<sup>3</sup>, dengan nilai kembang dan susut kritis 11,25 %, untuk tanah yang terpengaruh proses basah kering.
6. Makin meningkat nilai kepadatan kering maksimum, makin bertambah nilai kembang dan nilai susutnya, untuk tanah yang terpengaruh proses basah kering. Sebelum mencapai OMC kritis nilai susut lebih besar daripada nilai kembang, sedangkan setelah mencapai nilai OMC kritis nilai susut lebih kecil daripada nilai kembang
7. Kadar air optimum terdapat sekitar 32 %, dan makin meningkat nilai kadar air makin bertambah nilai kembang dan susutnya, untuk tanah yang terpengaruh proses musim basah kering.
8. Dari aspek kadar air optimum, nilai kembang akan meningkat bila tanah terpengaruh atau tidak terpengaruh oleh proses musim basah kering.
9. Pada kondisi kadar air optimum kurang dari 41 %, nilai susut pada kondisi tanah terpengaruh musim basah kering lebih tinggi. Sedangkan pada kondisi nilai kadar air optimum lebih besar 41 %, nilai susut pada tanah asli akan menurun.
10. Dari aspek kepadatan kering maksimum menunjukkan bahwa nilai kembang akan

### b. Saran

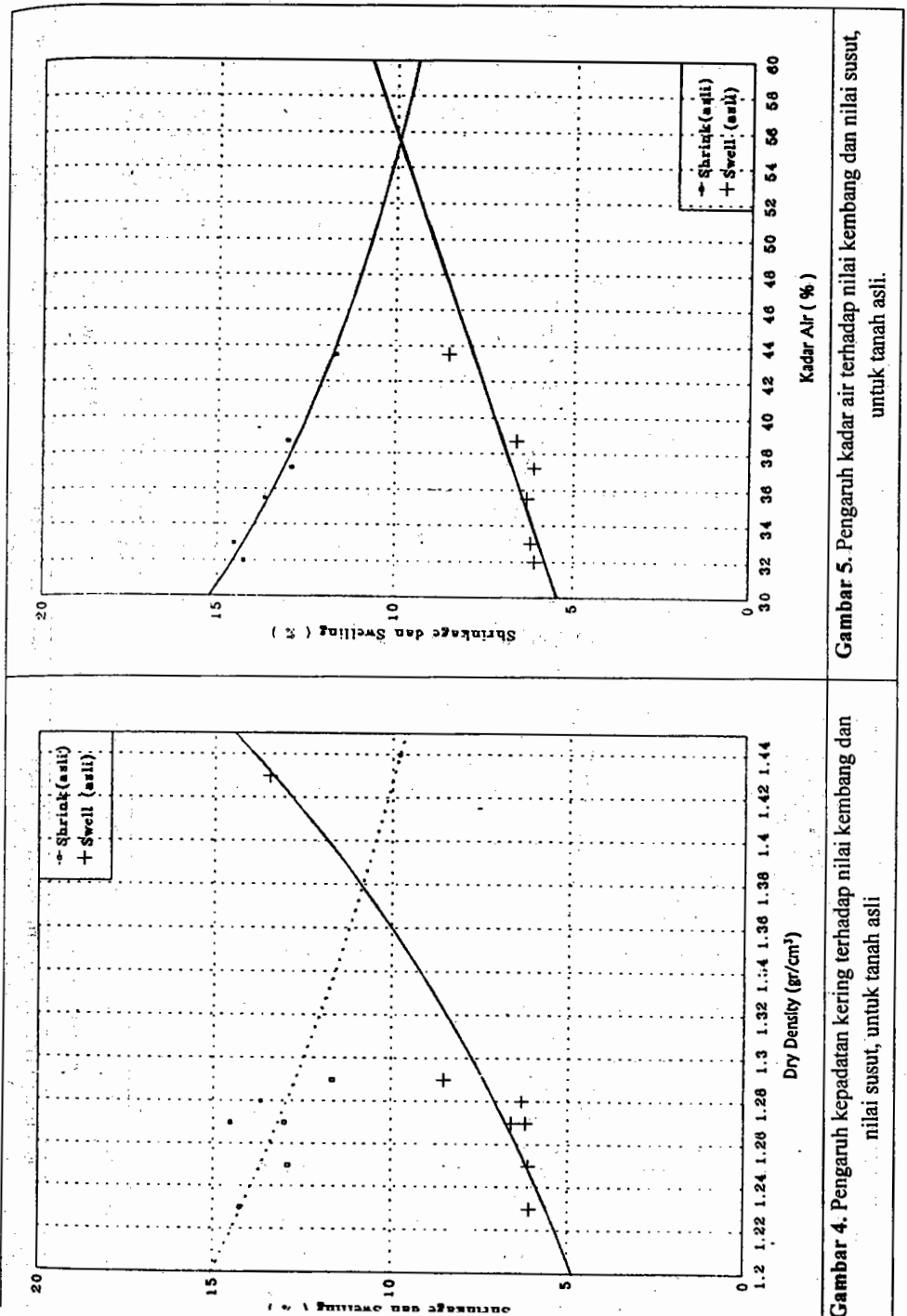
Pelaksanaan bangunan sipil yang terletak pada tanah ekspansif perlu diadakan perbaikan sifat ekspansif tanah tersebut, salah satunya membuat kondisi tanah dengan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum mendekati kondisi kritisnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

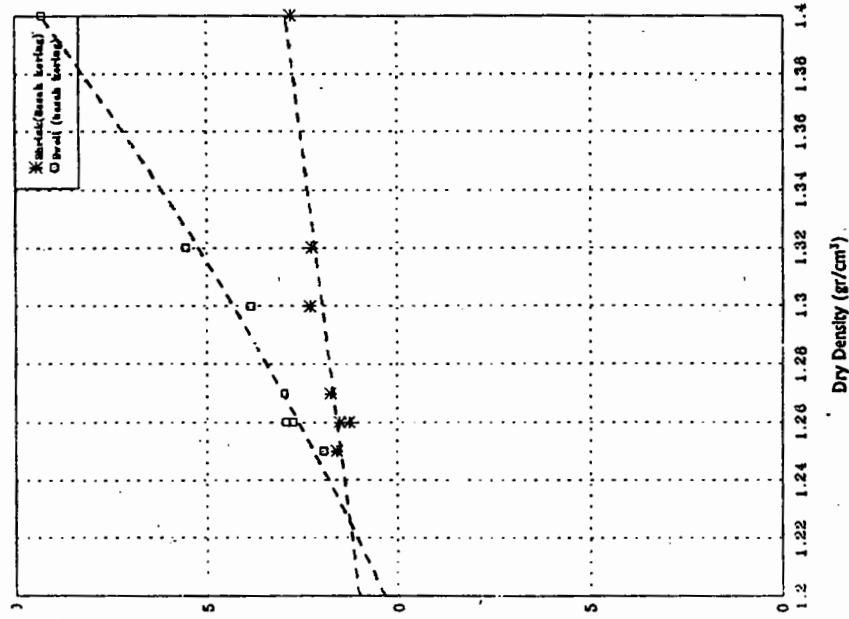
Dalam kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pimpina Fakultas Teknik UGM dan Ketua Lembaga Penelitian UGM atas biaya yang diberikan melalui DPP-UGM tahun anggaran 1997/1998.

### DAFTAR PUSTAKA

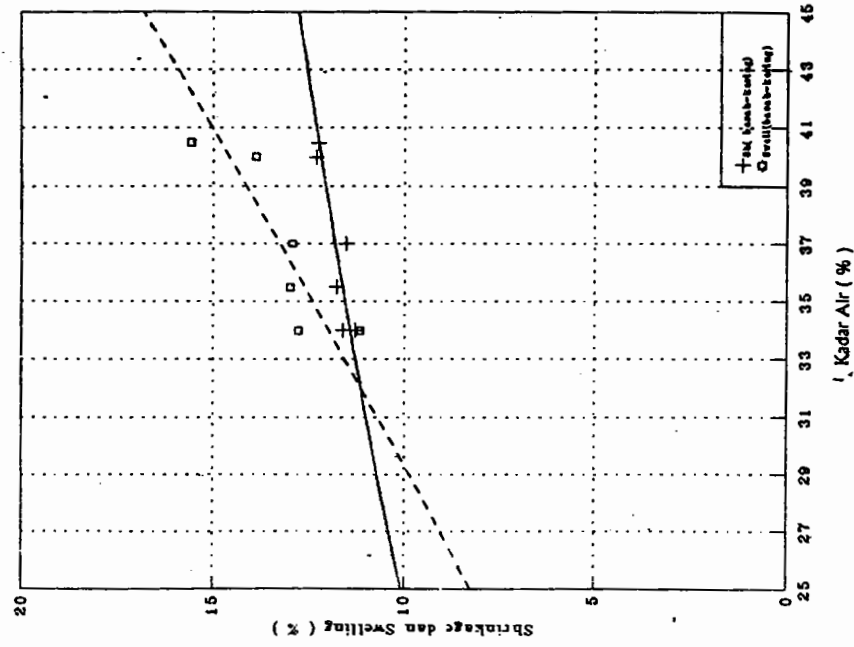
- , 1987, *Proceedings of the 6th International Conference on Expansive Soils, Restrained Shrinkage of Remolded Heavy Clay*, 3<sup>rd</sup> International Conference on New Delhi, India.
- Chen, F.H., 1975, *Foundation on Expansive Soils*, Else vier Scientific Publishing Company, New york.
- Chen, X. Q., and Lu, C.H., 1984, *Calculation of Movement of Building Foundation of Expansive Soils*, 5<sup>th</sup> International Conference on Expansive Soils.
- Chen, X.Q.; Lu, C.H., and He, X.F., 1985, *Moisture Movement and Deformation of Expansive Soils*, 11<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerin, Vol. 4.
- Driscoll, R., 1983, *The Influence of Vegetation on Swelling and Shrinkage of Clay Soils in Britain*, *Geotechnique*, Vol. 33, No. 2.
- Munirwansyah, 1989, *Studi Pengaruh Swelling Pressure dan Uplift Force dalam Percobaan Model Fondasi Tiang pada Tanah Expansive*, Tesis, Bandung.
- Popescu, M., 1980, *Behavior of Expansive Soils with a Crumb Structure*, 4<sup>th</sup> International Conference on Expansive Soils.
- Supriyono, 1994, *Karakteristik Swelling Tanah Lempung Expansive dengan Batas-batas Atterberg menggunakan Geonor Swelling Test*, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Supriyono, 1995, *Tekanan pengembangan untuk tanah tak ter usik khususnya pada tanah ekspansif*, DPP.
- Supriyono, 1996, *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Kapur*, DPP.
- Uzan, J., etc, 1973, *Two Dimensional Restrained Shrinkage of Remolded Heavy Clay*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Expansive Soils.



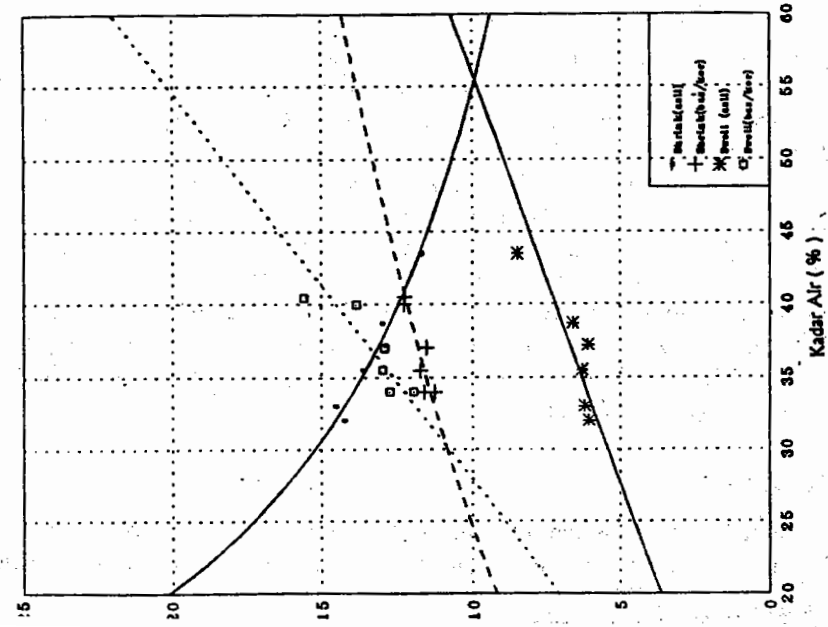




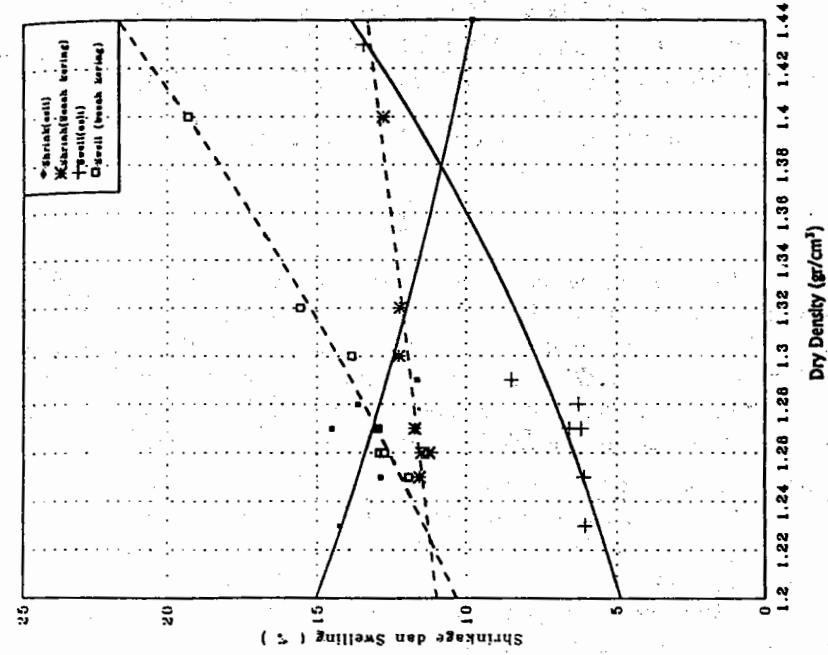
Gambar 6. Pengaruh kepadatan kering terhadap nilai kembang dan nilai susut, untuk tanah yang dipengaruhi proses basah kering



Gambar 7. Pengaruh kadar air terhadap nilai kembang dan nilai susut, untuk tanah yang dipengaruhi proses basah kering



Gambar 8. Pengaruh kadar air terhadap nilai kembang dan nilai susut, untuk tanah yang dipengaruhi proses basah kering dan tanah asli.



Gambar 9. Pengaruh kepadatan kering terhadap nilai kembang dan nilai susut, untuk tanah yang dipengaruhi proses basah kering dan tanah asli.